



Sughrue

SUGHRUE MION, PLLC

2100 Pennsylvania Avenue, NW
Washington, DC 20037-3213

Washington, DC 20037-3213

T 202.293.7060

F 202.293.7860

www.sughrue.com

March 7, 2002

BOX PATENT APPLICATION
Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

JC997 U.S. PTO
10/090267

03/07/02

Re: Application of Hironobu ISHIKAWA and Atsutoshi SUGIYAMA
CERAMIC DYNAMIC-PRESSURE BEARING AND HARD DISK DRIVE
USING THE SAME
Assignee: NGK SPARK PLUG CO., LTD.
Our Ref. Q68736

Dear Sir:

Attached hereto is the application identified above comprising sixty-four (64) sheets of the specification, including the claims and abstract and , seven (7) sheets of drawings. The executed Declaration and Power of Attorney and Assignment will be submitted at a later date. Also enclosed is an Information Disclosure Statement and PTO Form 1449 with references

The Government filing fee is calculated as follows:

Total claims	<u>28</u>	-	20	=	<u>8</u>	x	\$18.00	=	\$144.00
Independent claims	<u>2</u>	-	3	=	<u>25</u>	x	\$84.00	=	\$0.00
Base Fee									\$740.00

TOTAL FEE **\$884.00**

A check for the statutory filing fee of \$884.00 is attached. You are also directed and authorized to charge or credit any difference or overpayment to Deposit Account No. 19-4880. The Commissioner is hereby authorized to charge any fees under 37 C.F.R. §§ 1.16 and 1.17 and any petitions for extension of time under 37 C.F.R. § 1.136 which may be required during the entire pendency of the application to Deposit Account No. 19-4880. A duplicate copy of this transmittal letter is attached.

Priority is claimed from:

<u>Country</u>	<u>Application No</u>	<u>Filing Date</u>
Japan	2001-65591	March 8, 2001

The priority document is enclosed herewith.

Respectfully submitted,
SUGHRUE MION, PLLC

Attorneys for Applicant

By: Abraham J. Rosner
Abraham J. Rosner
Registration No. 33,276

日本国特許
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 3月 8日

出願番号

Application Number:

特願 2001-065591

ST.10/C]:

[JP 2001-065591]

出願人

Applicant(s):

日本特殊陶業株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2002年 1月22日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特 2002-3000241

【書類名】

特許願

【整理番号】

AX0017017N

【提出日】

平成13年 3月 8日

【あて先】

特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】

F16C 32/06

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区高辻町14番18号 日本特殊陶業株式会社内

【氏名】 石川 敬展

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区高辻町14番18号 日本特殊陶業株式会社内

【氏名】 杉山 敦俊

【特許出願人】

【識別番号】 000004547

【氏名又は名称】 日本特殊陶業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100095751

【弁理士】

【氏名又は名称】 菅原 正倫

【電話番号】 052-212-1301

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003388

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9714967

特2001-065591

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ハードディスク装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 円筒状の外周面を有するセラミック製の第一部材と、円筒状の挿通孔を有したセラミック製の第二部材とを有し、前記第二部材の前記挿通孔に前記第一部材が軸線周りに相対回転可能に挿通されるとともに、その回転軸線方向における前記第二部材の少なくとも一方の端面に対向する形で配置されるセラミック製のスラスト板を有し、前記第二部材の端面と、これに対向する前記スラスト板の対向面とをそれぞれスラスト動圧隙間形成面として、それらスラスト動圧隙間形成面の間にスラスト動圧隙間が形成されたセラミック動圧軸受を、モータ回転出力部の軸受として用いた軸受付きモータと、

その軸受付きモータにより回転駆動されるハードディスクとを備え、

前記セラミック動圧軸受において、以下の①～⑥の少なくともいずれかを満たすことを特徴とするハードディスク装置。

①前記第二部材の前記スラスト板に面するスラスト動圧隙間形成面の平面度が3 μm 以下とする。

②前記スラスト板の前記第二部材に面するスラスト動圧隙間形成面の平面度が3 μm 以下とする。

③前記第二部材の前記スラスト板に面するスラスト動圧隙間形成面の平面度と、該第二部材のスラスト動圧隙間形成面に面する前記スラスト板のスラスト動圧隙間形成面の平面度との合計が3 μm 以下とする。

④前記第二部材の前記スラスト板に面するスラスト動圧隙間形成面にて、その内周部が最外周部に対して0 μm を上回りかつ2.5 μm 以下の範囲で凸とする。

⑤前記スラスト板の前記第二部材に面するスラスト動圧隙間形成面にて、その内周部が最外周部に対して0 μm を上回りかつ2.5 μm 以下の範囲で凸とする。

⑥前記第二部材及び前記スラスト板にて、互いに面するスラスト動圧隙間形成面にて、最外周部同士の間隔が0 μm を上回りかつ2.5 μm 以下の範囲とする。

【請求項2】 前記第二部材の挿通孔内面と、これに挿通される前記第一部材の外周面とをそれぞれラジアル動圧隙間形成面として、それらラジアル動圧隙

間形成面の間にラジアル動圧隙間が形成されている請求項1記載のハードディスク装置。

【請求項3】 前記スラスト板のスラスト動圧隙間形成面における硬さが、前記第二部材のスラスト動圧隙間形成面における硬さよりも小である請求項1又は2に記載のハードディスク装置。

【請求項4】 前記第一部材、前記第二部材及び前記スラスト板は、 $A_1 \cdot 2 \cdot O_3$ 換算したA1成分の含有率が90～99.5質量%であって、酸化物系焼結助剤成分を酸化物換算にて0.5～1.0質量%含有するアルミナ質セラミックにて構成されている請求項1ないし3のいずれか1項に記載のハードディスク装置。

【請求項5】 前記アルミナ質セラミックの見かけ密度が3.5～3.9g/cm³である請求項4記載のハードディスク装置。

【請求項6】 前記アルミナ質セラミックの相対密度が90%以上である請求項4又は5に記載のハードディスク装置。

【請求項7】 前記アルミナ質セラミック結晶粒子の平均粒径が1～7μmである請求項4ないし6のいずれか1項に記載のハードディスク装置。

【請求項8】 前記アルミナ質セラミックからなる動圧隙間形成面において、粒径2～5μmのセラミック結晶粒子の面積率が40%以上であることを特徴とする請求項4ないし7のいずれか1項に記載のハードディスク装置。

【請求項9】 前記アルミナ質セラミックからなる動圧隙間形成面に存在する表面空孔の平均寸法が、セラミック結晶粒子の平均粒径よりも大である請求項4ないし8のいずれか1項に記載のハードディスク装置。

【請求項10】 前記動圧隙間形成面に存在する表面空孔の平均寸法が2～20μmである請求項4ないし9のいずれか1項に記載のハードディスク装置。

【請求項11】 前記動圧隙間形成面における、寸法2～20μmの表面空孔の形成面積率が10～60%である請求項4ないし10のいずれか1項に記載のハードディスク装置。

【請求項12】 前記第一部材、前記第二部材及び前記スラスト板を構成するセラミックは、相対密度が90%以上の緻密セラミック焼結体であって、焼結

体中に存在する寸法2~20μmの空孔が主に、前記動圧隙間形成面に前記表面空孔の形で局在化した形で存在するものである請求項4ないし11のいずれか1項に記載のハードディスク装置。

【請求項13】 前記表面空孔は、前記動圧隙間形成面を加工仕上げする際に、セラミック結晶粒子が脱落して形成されたものである請求項12記載のハードディスク装置。

【請求項14】 前記ラジアル動圧隙間形成面及び前記スラスト動圧形成面の少なくともいずれかに動圧溝が形成されている請求項1ないし13のいずれか1項に記載のハードディスク装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ハードディスク装置に関し、特にモータ回転出力部にセラミック動圧軸受を設けたハードディスク装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、電気機器の駆動源となるモータ軸の軸受としてはボールベアリングが用いられることが多かったが、コンピュータ周辺機器の一つであるハードディスク装置においては、モータの高速回転化が急速に進んでおり、低回転ムラや異音・振動の少ない優れた軸受性能を得るため、あるいは軸受の長寿命化のために、空気等の流体を媒介とした動圧軸受が用いられている。動圧軸受は、例えば主軸とこれを取り囲むように配置される軸受部とが軸線周りに回転する場合には、主軸外周面と軸受部内周面との隙間に発生する流体動圧により回転軸を支持する。さらに、スラスト板の配置により主軸又は軸受部のスラスト面を動圧支持するようにした軸受もある。

【0003】

ところで、動圧軸受においては、発生動圧レベルの十分に高い高速回転状態では、動圧隙間を挟んで対向する部材同士の接触は生じないが、回転数の小さい起動時および停止時には十分な動圧が発生しないために、部材同士の接触が生ずる

。そして、上記のような動圧軸受の部品構成材料には、ステンレス等の金属もしくはこれらに樹脂等のコーティングを施したものが一般的に用いられてきたが、金属製のものは上記起動時あるいは停止時の部材接触により、摩耗や焼き付きが問題になることがある。これを防止するために、動圧隙間に面する部分に樹脂などの潤滑層をコーティングする試みもなされているが、効果は必ずしも十分ではない。そこで、摩耗や焼き付きに対する耐久性を十分に確保するために、上記主軸ないし軸受部など、動圧隙間を挟んで対向する部材をアルミナ等のセラミックにより構成することが行われている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、スラスト板を用いてスラスト方向の動圧支持を行なうようにした動圧軸受を採用したハードディスク装置の場合、部品をセラミックで構成しているにもかかわらず、起動時及び停止時などにおいて第二部材とスラスト板とが接触する際に、リンク（即ち隙間が真空状になって部材同士が密着する現象）や摩耗が発生したり、あるいは始動トルクが高くなつて回転開始できなくなったりする問題があった。また、これとは別に、動圧軸受の回転時に振動が発生して、回転が安定しなくなる問題が生ずることもあった。

【0005】

本発明の課題は、始動・停止時等においてスラスト板に摩耗等が生じにくく、かつ振動の少ない動圧軸受の安定な回転を実現できるセラミック動圧軸受を用いたハードディスク装置を提供することにある。

【0006】

【課題を解決する手段及び作用・効果】

上記課題を解決するために本発明のハードディスク装置は、

円筒状の外周面を有するセラミック製の第一部材と、円筒状の挿通孔を有したセラミック製の第二部材とを有し、第二部材の挿通孔に第一部材が軸線周りに相対回転可能に挿通されるとともに、その回転軸線方向における第二部材の少なくとも一方の端面に対向する形で配置されるセラミック製のスラスト板を有し、第二部材の端面と、これに対向するスラスト板の対向面とをそれぞれスラスト動圧

隙間形成面として、それらスラスト動圧隙間形成面の間にスラスト動圧隙間が形成されたセラミック動圧軸受を、モータ回転出力部の軸受として用いた軸受付きモータと、

その軸受付きモータにより回転駆動されるハードディスクとを備え、

セラミック動圧軸受において、以下の6つの要件、すなわち；

- ①第二部材のスラスト板に面するスラスト動圧隙間形成面の平面度が $3 \mu m$ 以下；
- ②スラスト板の第二部材に面するスラスト動圧隙間形成面の平面度が $3 \mu m$ 以下；
- ③第二部材のスラスト板に面するスラスト動圧隙間形成面の平面度と、該第二部材のスラスト動圧隙間形成面に面するスラスト板のスラスト動圧隙間形成面の平面度との合計が $3 \mu m$ 以下；
- ④第二部材のスラスト板に面するスラスト動圧隙間形成面にて、その内周部が最外周部に対して $0 \mu m$ を上回りかつ $2.5 \mu m$ 以下の範囲で凸である；
- ⑤スラスト板の第二部材に面するスラスト動圧隙間形成面にて、その内周部が最外周部に対して $0 \mu m$ を上回りかつ $2.5 \mu m$ 以下の範囲で凸である；
- ⑥第二部材及びスラスト板にて、互いに面するスラスト動圧隙間形成面にて、最外周部同士の間隔が $0 \mu m$ を上回りかつ $2.5 \mu m$ 以下の範囲である；

の少なくともいずれかを満たすことを特徴とする。

【0007】

なお、本発明において、平面度とはJIS：B0021の18.2に規定された平面度を意味する。また、本発明のハードディスク装置において、セラミック動圧軸受が上記の①～⑥のいずれかの要件を満たすことで達成される効果は、以下の通りである。

【0008】

①第二部材のスラスト板に面するスラスト動圧隙間形成面の平面度を $3 \mu m$ 以下とすれば、第二部材が回転する際に、第二部材端面とスラスト板の間隔が円周方向に一定になり、発生した動圧も回転によるムラが少なくなる。その結果、動圧軸受ひいてはハードディスクの回転動作を安定させることができる。そして、デ

ィスク回転数の高速化及び信頼性の向上を図ることができ、データ・アクセス速度、データの書き込み及び読み出しの精度を飛躍的に向上させることができる。また、回転時の振動を防止できるので、第二部材等のセラミックス製の部材が周囲に接触して破損することも防止できる。なお、第二部材の両端面がスラスト動圧隙間形成面となって、それぞれスラスト板が配置されている場合、上述した第二部材のスラスト動圧隙間形成面に対する平面度の規定は、一方の側のスラスト動圧隙間形成面だけでなく、両側にて満足することがより望ましい。

【0009】

②スラスト板の第二部材に面するスラスト動圧隙間形成面の平面度を $3 \mu m$ 以下とすることで、第二部材が回転する際に、第二部材端面とスラスト板の間隔が円周方向に一定になり、発生した動圧も回転によるムラが少なくなる。そのため、第二部材に振動が発生することを防止できるので、動圧軸受の回転動作を安定させることができる。その結果、ディスク回転数の高速化及び信頼性の向上を図ることができ、データ・アクセス速度及びデータの書き込み及び読み出しの精度を飛躍的に向上させることができる。また、第二部材の振動を防止できるので、第二部材等のセラミックス製の部材が周囲に接触して破損することも防止できる。この場合、第二部材の両端面がスラスト動圧隙間形成面となって、それぞれスラスト板が配置されている場合、上述したスラスト板のスラスト動圧隙間形成面に対する平面度の規定は、一方の側のスラスト動圧隙間形成面だけでなく、両側にて満足することがより望ましい。

【0010】

③第二部材とスラスト板にて、互いに向き合う各スラスト動圧隙間形成面の平面度の関係を示したものであり、両スラスト動圧隙間形成面の平面度の合計が $3 \mu m$ 以下の場合には、①ないし②と同様に、第二部材の振動の防止、セラミックスの破損防止効果が得られる。

【0011】

④第二部材のスラスト板に面するスラスト動圧隙間形成面にて、その内周部が最外周部に対して $0 \mu m$ を上回り且つ $2.5 \mu m$ 以下の範囲で凸であるので、起動時や停止時に、リンクイング及び凝着摩耗の発生を防止でき、それにより、セラミ

ックスの破損を防止できる。つまり、第二部材の最外周部では、第二部材とスラスト板との距離が内周部より所定の範囲内で離れているので、起動時や停止時のように、第二部材が下方のスラスト板に着座する状態であっても、最外周部はスラスト板に接触しがたい。そのため、起動時には、リンクギング及び凝着摩耗を起こすことなくスムーズに回転を開始するとともに、停止時には、最外周部がスラスト板に密着しリンクギング及び凝着摩耗により急停止することがない。

【0012】

なお、凸の範囲が $2.5 \mu m$ を上回る場合は、動圧の発生が安定せず、振動が大きくなるので、好ましくない（以下同様）。また、本発明の第四の構成では、第二部材の板厚方向（回転軸の軸方向）の両側（上下両側）に、動圧が発生するスラスト動圧隙間形成面が形成されているが、上述した凸となる寸法の規定は、一方の側（特に下方）のスラスト動圧隙間形成面だけでなく、両側にて満足することがより望ましい。

【0013】

⑤スラスト板の第二部材に面するスラスト動圧隙間形成面にて、その内周部が最外周部に対して $0 \mu m$ を上回り且つ $2.5 \mu m$ 以下の範囲で凸であるので、④と同様に、起動時や停止時に、リンクギング及び凝着摩耗の発生を防止でき、それにより、セラミックスの破損を防止できる。この場合、第二部材の両端面がスラスト動圧隙間形成面となって、それぞれスラスト板が配置されている場合、上述した凸となる寸法の規定は、一方のスラスト板のスラスト動圧隙間形成面だけでなく、両スラスト板にて満足することがより望ましい。

【0014】

⑥第二部材及びスラスト板にて、互いに面するスラスト動圧隙間形成面の最外周部同士の間隔を規定したものであって、その間隔が $0 \mu m$ を上回り且つ $2.5 \mu m$ 以下である場合には、④及び⑤と同様に、起動時及び停止時のリンクギング及び凝着摩耗の抑制、セラミックスの破損防止の効果が得られる。

【0015】

なお、上記①～③の要件の、任意のいずれかを、④～⑥の要件の任意のいずれかと相互に組み合わせることが可能である。いずれの構成においても、動圧軸受

の回転に対する各要件の相乗的な作用により、セラミックスの破損防止の効果が一層大きくなる。

【0016】

なお、発生動圧レベルを高め、より安定した回転精度を実現するためには、第二部材の挿通孔内面と、これに挿通される第一部材の外周面とをそれぞれラジアル動圧隙間形成面として、それらラジアル動圧隙間形成面の間にラジアル動圧隙間を形成しておくことが望ましい。

【0017】

次に、スラスト板は、例えば第一部材の端面に重ねた形で固定することができる。この場合、その固定方法としては、第一部材とこれに重ね合わされたスラスト板とを貫通するようにボルトを配置し、該ボルトのスラスト板から突出する脚部末端に雌ねじ部に螺合させて締結する方法がある。この場合、該締結によってスラスト板に反りを生じ、その反りが第一部材の端面に面する側において凹状となる場合には、スラスト板の外縁部が第一部材端面と接触し、かじりを生ずる場合がある。このようななかじりが生ずると、動圧隙間を形成する第一部材端面の面精度が低下し、安定した動圧発生が不能となる場合がある。また、接触圧力の高い場合には、モータ起動時のトルクが過度に増大し、過負荷によりモータの寿命を縮めたり、甚だしい場合には始動不能となったりすることもありうる。

【0018】

このような不具合を軽減するために、スラスト板のスラスト動圧隙間形成面における硬さを、第二部材のスラスト動圧隙間形成面における硬さよりも小としておくことが望ましい。このようにすると、上記のごとき接触が生じても、スラスト板の外縁部が適度に摩耗するので、第一部材端面に強いかじりを生じにくくなる。また、スラスト板側が摩耗することにより接触圧力が減少し、モータ起動時のトルクが過大となることを防止することができる。

【0019】

なお、スラスト板と第二部材との構成セラミックに硬さの差異を生じさせる方法としては、以下のようなものがある。

- ①スラスト板側を、第二部材よりもセラミック主相の硬さが本質的に小さい別材

質のセラミックにて構成する。例えば、第二部材を窒化珪素やジルコニアとし、スラスト板をアルミナとする。

②セラミック主相を同一の無機化合物（例えばアルミナ）にて構成する場合、スラスト板の構成セラミックの粒界相（焼結助剤）含有率を増大させる。あるいは、スラスト板の構成セラミックの密度を小となす。さらには、スラスト板の構成セラミックの主相の平均粒径を大となす。

【0020】

次に、第一部材及び第二部材あるいはスラスト板をアルミナ質セラミックにて構成する場合、該セラミックのアルミナ含有率を90～99.5質量%に調整することが、上記①～⑥の要件を実現する加工精度を確保する上で有効である。

【0021】

アルミナ含有率を上記のような範囲に調整するのは、以下のような理由による。すなわち、焼結助剤成分が過度に増加してアルミナ含有率が不足すると、焼成時に発生する液相量が増加して焼結体の結晶粒成長が過度に進行する。このように、焼結助剤成分の含有率が高く、また、結晶粒成長が進みすぎたセラミック組織は硬さが小さく、砥石や砥粒にて動圧隙間形成面を加工仕上げする際の研削抵抗が小さくなる。研磨が不必要に急速進行する傾向があり、研磨面の精度を確保しにくくなる欠点がある。すなわち、研磨面の加工精度を高めるには、セラミックの材質が適度な硬さを有していることが重要である。そこで、セラミックのアルミナ含有率を最低でも90質量%確保すること、あるいは焼結助剤成分の含有率を10質量%以下に制限することにより、上記のような過度の結晶粒成長が生じ難くなり、①～⑥の数値範囲を満たすスラスト動圧隙間の加工精度を容易に確保することができるようになる。

【0022】

他方、焼結助剤成分含有率が減少してアルミナ含有量が過剰になると、焼結時の液相発生量が減少し、結晶粒子の成長が抑制されて平均結晶粒径は相当小さな値となる。その結果、逆にセラミックの研磨や研削に対する抵抗が大きくなりすぎて、加工能率の大幅な低下を招くことにつながる。

【0023】

以上の観点において、アルミナ質セラミック結晶粒子の平均粒径は、具体的には $1\sim10\text{ }\mu\text{m}$ の範囲に調整することが望ましい。また、アルミナ含有率は、望ましくは92~98質量%、より望ましくは93~97質量%とするのがよい。さらに、粒界相を構成する酸化物系焼結助剤成分は、酸化物換算にて望ましくは2~8質量%、より望ましくは3~7質量%含有させることができる。

【0024】

なお、本明細書において結晶粒子（あるいは表面空孔）の寸法とは、図6に示すように、SEMや光学顕微鏡等による動圧隙間形成面組織の観察面上において、結晶粒子（あるいは表面空孔）の外形線に対し、それらの内部を横切らない外接平行線を、該外形線との位置関係を変えながら各種引いたときに、その平行線の最小間隔 d_{min} と、最大間隔 d_{max} との平均値（すなわち、 $d = (d_{min} + d_{max}) / 2$ ）にて表すものとする。

【0025】

酸化物系焼結助剤成分としては、例えばカチオン成分がLi、Na、K、Mg、Ca、Sr、Ba、Sc、Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu及びSiである酸化物を使用することができる。この場合、アルミナ質セラミックには、上記カチオン成分群から選ばれる1種又は2種以上を酸化物換算した値にて、合計で0.5~10質量%（望ましくは2~8質量%、より望ましくは3~7質量%）含有させることができる。

【0026】

これらのうち、Si成分は粒界相の骨格を形成して強度を高めるとともに、液相の流動性を改善する効果を有する。また、アルカリ金属であるLi、Na及びKの3成分は、焼成時に生ずる液相の融点を下げ、液相の流動性を向上させて焼結体の緻密化を促進する効果がある。このうち、Naは安価であり、また、バイヤー法にて製造された一般的なアルミナ原料粉末中では、本来不純物として存在するNaも、焼結助剤として流用できる利点がある。なお、これら3成分は、いずれも組成式 M_2O （ただし、Mはカチオン金属元素である）にて酸化物換算する。

【0027】

他方、アルカリ土類金属であるMg、Ca、Sr及びBaの4成分も、アルカリ金属に次いで焼成時に生ずる液相の融点を下げる効果が大きい。他方、これらの元素は、粒界相中に取り込まれた際にその強度を向上させる効果を有する。その結果、焼結体全体ひいては動圧隙間形成面（スラスト及び／又はラジアル、特にスラスト；以下、同様）の強度及び耐摩耗性を向上させることができる。該効果は、Caを用いた場合に特に大きい。これら4成分は、いずれも組成式MO（ただし、Mはカチオン金属元素である）にて酸化物換算する。

【0028】

また、希土類金属であるSc、Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb及びLuは、粒界相の結晶化を促進し、その強度を向上させる効果を有する。その結果、焼結体全体ひいては動圧隙間形成面の強度及び耐摩耗性を向上させることができる。該効果は、Ceを用いた場合に特に大きい。これら成分は、Ceのみ組成式 MO_2 により、他は組成式 M_2O_3 （ただし、Mはカチオン金属元素である）にて酸化物換算する。

【0029】

次に、アルミナ質セラミックの見かけ密度は、3.5～3.9 g/cm³であることが望ましい。アルミナ質セラミックの密度を比較的高い値である3.5～3.9 g/cm³に調整することにより、動圧隙間発生面を構成するアルミナ質セラミックの強度及び耐摩耗性の絶対値を向上させることができ、ひいては部材間の接触が生じやすい回転の起動・停止時において、動圧隙間形成面の摩耗を効果的に防止することができる。

【0030】

なお、理想的に緻密化したアルミナ質セラミックの密度は最大で4.0 g/cm³に到達するが、このように完全に緻密化するまでアルミナ質セラミックを焼結しようとすると、焼結温度をどうしても高温に設定せざるを得なくなり、結晶粒成長が避けがたくなる。このような状態になると、前述の通り動圧隙間形成面の精度を確保しにくくなる場合がある。しかしながら、アルミナ質セラミックの見かけ密度を3.9 g/cm³程度までに留めれば、焼結温度をそれほど高温化

する必要はなくなり、結晶粒成長も抑制されるので、動圧隙間形成面の精度を前記した①～⑥の数値範囲内のものとする上で一層好都合である。他方、見かけ密度が3.5未満になるとアルミナ質セラミックの強度及び耐摩耗性が損なわれ、起動・停止時の動圧隙間形成面の摩耗が却って生じやすくなる場合がある。アルミナ質セラミックの見かけ密度は、より望ましくは3.6～3.8 g/cm³の範囲にて調整することが望ましい。

【0031】

なお、アルミナ質セラミックの見かけ密度は、緻密化の進行状態のみでなく、添加する焼結助剤の種類や含有量の影響も多少は受ける。そして、セラミックの緻密化レベルと結晶粒成長の度合いとの関係を論ずる場合は、相対密度（すなわち、アルミナ及び焼結助剤の組成比から見積もられる真密度により、見かけ密度を除した値）を尺度として用いることもできる。本発明においては、アルミナ質セラミックの相対密度は90%以上とするのがよく、望ましくは90～98%、より望ましくは94～97%とするのがよい。

【0032】

上記のような密度範囲に調整されたアルミナ質セラミックは、その曲げ強度レベルとして、280～550 MPaの比較的高い値が可能となる。また、荷重15Nにて測定したロックウェル硬さは、92～98程度とすることができる。さらに、破壊靭性値は3～5 MPa·m^{1/2}程度とすることができる。アルミナ質セラミックの強度、硬さあるいは破壊靭性値がこのような範囲のものとなることで、起動・停止時の動圧隙間形成面の摩耗を防止ないし抑制する効果と、加工能率を極端に低下させることなく、スラスト動圧隙間に於いて前述の①～⑥の要件を満たす十分な加工精度を確保することができる。なお、本明細書において曲げ強度は、JIS：R1601（1981）に規定された方法に基づいて、室温にて測定した3点曲げ強度を意味する。また、荷重15Nにて測定したロックウェル硬さは、JIS：Z2245に規定された方法に基づいて、室温にて測定した硬さ値を意味する。さらに、破壊靭性値はJIS：R1607（1990）に規定されたIF法による測定値を意味する。

【0033】

次に、本発明者らの検討によると、動圧隙間形成面が極端に平滑な面であると、動圧隙間に十分な流体動圧を発生できなくなる場合があることわかった。発生する動圧レベルが不十分であると、当然に回転軸の安定的な支持状態を実現できなくなり、動圧軸受の好適な回転状態を確保することも困難となる。従って、動圧隙間形成面には、一定の寸法範囲の表面空孔を積極的に形成することが、発生する動圧レベルを高く安定なものとする上で有効である。

【0034】

具体的には、動圧隙間形成面に寸法の大きな孔が存在している場合には、例えば主軸が回転する際に、主軸と軸受の間にある流体層に乱れが発生し、例えば主軸に振動が発生すると考えられる。一方、セラミックの動圧隙間形成面に存在する孔の寸法が小さい場合には、該動圧隙間形成面に凝着が生じやすくなり、例えば凝着した高摩擦状態で無理に回転しようとすることによる摩耗（以下、凝着摩耗という）等を引き起こしやすくなる。他方、極端に寸法の小さい表面空孔は、動圧発生にはほとんど寄与しない。

【0035】

ところで、動圧隙間形成面に形成される上記のような空孔は、主として研磨時の粒子脱落により形成されることから、動圧隙間形成面におけるアルミナ質セラミックの結晶粒子の寸法（結晶粒径）あるいはその分布は、上記のような不具合を生じない好適な表面空孔の形成状態を得る上で極めて重要な役割を果たす。本発明においては、具体的には、部材の動圧隙間形成面を構成するセラミック結晶粒子の平均粒径を $1 \sim 7 \mu\text{m}$ の範囲となるように調整することで、発生する流体動圧レベルを高く安定なものとし、かつ動圧軸受の始動ないし停止時の凝着摩耗やリンキングといった不具合を効果的に抑制する観点において、より有利な表面空孔の寸法及び形成量が実現できる。

【0036】

セラミック結晶粒子の平均粒径が $1 \mu\text{m}$ 未満になると、形成される表面空孔の平均寸法が小さくなりすぎ、軸受の回転の起動ないし停止時に動圧隙間形成面に凝着摩耗やリンキングが生じやすくなる。また、動圧隙間に発生する流体動圧レベルが不足しがちとなり、回転振れ等を引き起こしやすくなる。他方、セラミッ

ク結晶粒子の平均粒径が $7\text{ }\mu\text{m}$ を超えると、逆に形成される表面空孔の平均寸法が大きくなりすぎ、動圧隙間に過度の乱流が発生して、回転軸に振動が発生しやすくなる。セラミック結晶粒子の平均寸法は、より望ましくは $2\sim5\text{ }\mu\text{m}$ とするのがよい。

【0037】

なお、動圧隙間形成面において、前記した有利な表面空孔の寸法及び形成量を実現するためには、粒径 $2\sim5\text{ }\mu\text{m}$ のセラミック結晶粒子の面積率が40%以上(100%含む)であることがより望ましい。該寸法範囲のセラミック粒子が40%未満になると、例えば該寸法範囲の上限よりも大きな粒子が多くなった場合は、粒子の脱落そのものが生じにくくなって、動圧発生に有効寄与する表面空孔の面積率が不足する結果につながる場合がある。他方、寸法範囲の下限よりも小さな粒子が多くなった場合は、形成される表面空孔の平均寸法が小さくなりがちとなる。いずれも十分なレベルの動圧を発生させる上で不利となる場合がある。

【0038】

アルミナ質セラミックは、アルミナ粉末に焼結助剤粉末を配合したものを原料として、これを焼成することにより製造される。このようなアルミナ質セラミックは、図9に示すように、アルミナを主成分とするアルミナ主相の結晶粒子が、焼結助剤に由来する粒界相にて結合された組織を有する。そして、研磨時の結晶粒子の脱落は、主にこの粒界相の破壊により生ずると考えられる。そして、その抜け落ちた結晶粒子の占めていた空間が動圧隙間形成面に開放する空孔となって残留する。特に局所的に粒界相が薄くなっていたり、内部キャビティ等の存在により粒界相が不足したりしている部分、あるいは成分偏析や熱応力等に起因したクラックの存在等により、粒界相の強度が不足している部分など、粒界相結合力が相対的に低下した部分にて、結晶粒子の脱落は生じやすいものと考えられる。なお、本発明において、「主成分」(「主体」あるいは「主に」等も同義)とは、特に断りがない限り、着目している物質においてその成分の含有率が50質量%以上であることを意味する。

【0039】

例えば、1個の結晶粒子が脱落すれば、図10(a)の空孔V1(図中、白が

抜け落ちていない粒子を、黒が抜け落ちた粒子を表す) のように、その結晶粒子の形状及び寸法に対応した空孔が形成されることとなる。他方、複数の結晶粒子が集団で脱落すれば、V2のような空孔が生ずる。また、図10(b)に示すように、通常は種々の大きさの結晶粒子が混在した組織となることから、大きな結晶粒子が複数の小さな結晶粒子に取り囲まれた組織部分が生じていると、周りの小さな結晶粒子が連鎖的に脱粒することで、真中の大きな結晶粒子が抜け落ちることも多い。これらの場合、形成される空孔の寸法は、当然個々の結晶粒子よりは大きなものとなる。

【0040】

また、アルミナ質セラミックの組織が、個々の結晶粒子の形状異方性が小さい等軸晶的なものとなっており、また、上記のような粒界相結合力の低下した部分が一定の広がりをもって形成されている場合は、砥石や砥粒からの研磨力が複数の結晶粒子にまたがって作用したときに、V2のような脱落形態のほうが頻度的には発生しやすくなる。この場合、1~7 μmに設定された結晶粒子の平均寸法よりも、形成される表面空孔の平均寸法の方が大きくなる。また、表面空孔は、研磨方向によらず動圧隙間形成面には略等方的に散った形で形成される。結晶粒子の平均寸法よりも表面空孔の平均寸法を大きくすることで、発生動圧レベルをさらに向上させることができ、軸受のより安定な回転を実現することが可能となる。

【0041】

アルミナ質セラミックを製造する場合、原料として使用するアルミナ粉末の平均粒径は1~5 μmとするのがよい。この範囲を外れた平均粒径のアルミナ粉末を用いた場合、得られる焼結体の結晶粒子の平均粒径をすでに説明した、好ましい範囲のものとできなくなる場合がある。なお、粉末の平均粒子径はレーザー回折式粒度計を用いて測定できる。

【0042】

また、焼成温度は1400~1700℃の範囲にて設定するのがよい。焼成温度が1400℃未満では焼結体の緻密化が進みにくくなり、強度あるいは耐摩耗性の不足につながる。他方、焼成温度が1700℃を超えると過度の粒成長が生

じて、得られる焼結体の結晶粒子の平均粒径を前記した好ましい範囲内に留めることが困難となる場合がある。また、焼結体の変形等が生じやすくなつて寸法精度が損なわれる場合がある。

【0043】

次に、セラミックからなる動圧隙間形成面に存在する表面空孔の平均寸法は、具体的には $2\sim20\mu\text{m}$ とするのがよい。 $2\sim20\mu\text{m}$ の平均寸法の表面空孔を積極形成することにより、発生する流体動圧レベルを高く安定なものとすることができます。さらに、スラスト動圧発生隙間においては、リンクングの発生を防止することができる。

【0044】

表面空孔の平均寸法が $20\mu\text{m}$ を超えると、動圧隙間に過度の乱流が発生して、回転軸に振動が発生しやすくなる。他方、表面空孔の寸法が $2\mu\text{m}$ 未満になると、回転の起動ないし停止時に動圧隙間形成面に凝着摩耗やリンクング（スラスト；以下、同様）が生じやすくなる。また、動圧隙間に発生する流体動圧レベルが不足しがちとなり、回転振れ等を引き起こしやすくなる。表面空孔の平均寸法は、より望ましくは $5\sim15\mu\text{m}$ とするのがよい。

【0045】

次に、個々の表面空孔の寸法については、 $2\mu\text{m}$ 以下のものは動圧発生にあまり寄与することができず、他方、 $20\mu\text{m}$ を超えるものがあまり多数存在しすぎると、振動等が発生しやすくなる。すなわち、動圧発生に有効に寄与し、かつ安定な回転を実現する上で好適な表面空孔の寸法は、 $2\sim20\mu\text{m}$ である。そして、このような寸法範囲にある表面空孔の、動圧隙間形成面における形成面積率は、回転の起動ないし停止時に動圧隙間形成面に焼き付きあるいはリンクングをより生じにくくし、かつ動圧隙間に発生する流体動圧レベルを高める観点において 15% 以上、より望ましくは 20% 以上であるのがよい。他方、該面積率は、振動等の発生をより効果的に抑制する観点においては 60% 以下、望ましくは 40% 以下であるのがよい。

【0046】

また、動圧発生に有効に寄与し、かつ安定な回転を実現する上で、より好適な

表面空孔の寸法は $2\sim20\mu\text{m}$ であり、このような寸法範囲にある表面空孔の動圧隙間形成面における形成面積率を $10\sim60\%$ とするのがよい。

【0047】

なお、本明細書において、表面空孔の面積率とは、動圧隙間形成面に観察される空孔の合計面積を、動圧隙間形成面の面積により除した値をいう。ただし、動圧隙間形成面に周知の動圧溝が形成されている場合には、動圧溝の部分を除いた動圧隙間形成面領域について、表面空孔の面積率を算出するものとする。なお、面積率の測定は、光学顕微鏡等の拡大観察手段を用いて動圧隙間形成面領域を観察し、その観察視野中に $300\mu\text{m}\times300\mu\text{m}$ の正方形の測定領域を設定し、該測定領域中に識別される表面空孔の合計面積を測定領域面積にて除する事により算出する。なお、測定精度向上のため、1つの動圧隙間形成面領域において測定領域は任意に5ヶ所ないしそれ以上とし、表面空孔の面積率を、それら測定領域の平均値として算出することが望ましい。

【0048】

また、動圧隙間形成面における表面空孔は、振動等の原因を招きやすい寸法 $20\mu\text{m}$ を超えるものはなるべく存在していないことが望ましい。具体的には、動圧隙間形成面における寸法 $20\mu\text{m}$ を超える表面空孔の形成面積率が 10% 以下、望ましくは 5% 以下であるのがよい。また、振動発生防止の観点においては、動圧隙間形成面に存在する表面空孔の最大寸法が $100\mu\text{m}$ 以下であること、すなわち $100\mu\text{m}$ を超える表面空孔は存在しないことが望ましい。

【0049】

次に、動圧隙間を形成する第一部材及び第二部材は、それぞれ全体をアルミニ質セラミック（以下、単にセラミックともいう）にて構成することができる。部材を構成するセラミックは、内部は空孔の少ない緻密な焼結体組織とし、動圧隙間形成面部分は空孔が比較的多く形成された組織とすることが、発生動圧レベルの向上や、凝着摩耗あるいはリンクングの防止効果と、強度及び耐摩耗性向上効果とを両立させる上で望ましい。具体的には、セラミック焼結体中に存在する寸法 $2\sim20\mu\text{m}$ の空孔が主に、動圧隙間形成面に表面空孔の形で局在化した形で存在しているのがよい。そして、このような組織を能率よく形成するには、前述

のように、動圧隙間形成面を加工仕上げする際に、セラミック結晶粒子を脱落させて表面空孔を形成することが有効である。

【0050】

なお、動圧隙間形成面には動圧溝を形成することができる。例えば、ラジアル動圧隙間形成面となる主軸外周面に、周知の動圧溝が形成されていることにより、より一層スムーズな回転が実現できる。この動圧溝としては、図2(a)に示すように、例えば軸受部に挿入される主軸外周面(ラジアル動圧隙間形成面)に周方向に所定間隔で複数の動圧溝を形成できる。この実施形態では軸外周面の母線と一定角度をなす形で傾斜した直線状の溝列とされているが、山型(あるいはブーメラン型)の溝パターンを、軸周方向の基準線上に、溝パターンの先端が位置するように、所定の間隔で全周にわたって形成した、いわゆるヘリングボーン形態など、他の公知の形態を採用することもできる。また、図2(b)に示すように、例えばスラスト板の表面(スラスト動圧隙間形成面)に動圧溝を形成することもできる。この例では、板面周方向において、スラスト板中心位置からの距離が漸減する曲線状の溝部を周方向に所定の間隔で複数形成している。

【0051】

本発明のハードディスク装置は、回転駆動部が、例えば8000 rpm以上(さらに高速性の要求される場合には、10000 rpm以上ないし30000 rpm以上)の高速回転するものに適用できる。本発明の採用により、発生する流体動圧レベルを高く安定なものとでき、ひいては振動等を低減する効果を特に有效地に引き出すことができる。

【0052】

なお、アルミナ質セラミックにさらに強靭性を付与するために、ジルコニア質セラミックを配合した複合セラミック材料とすることもできる。このような複合セラミック材料は、最も含有率の高いセラミック成分がアルミナ及びジルコニアの一方であり、二番目に含有率の高いセラミック成分がアルミナ及びジルコニアの他方であるセラミック粉末を用いて、成形・焼成することにより得ることができる。なお、アルミナ質セラミックに対するジルコニア質セラミックの配合量は、5~60体積%とするのがよい。

【0053】

また、アルミナ質セラミックを基質として、これに、金属カチオン成分がTi、Zr、Nb、Ta及びWの少なくともいずれかである導電性無機化合物相を含有させた複合セラミック材料とすることもできる。このような複合セラミック材料は、基質セラミックの成形用素地粉末に、導電性無機化合物相の形成源となる粉末を配合して、成形・焼成することにより得ることができる。導電性無機化合物相を含有させることにより、セラミック材料に導電性を付与することができ、ひいては該セラミック材料にワイヤーカット等の放電加工を施すことが可能となる。また、導電性の付与により、帶電防止の効果を達成することができる。

【0054】

導電性無機化合物は、Ti、Zr、Nb、Taの少なくともいずれかを金属カチオン成分とする金属窒化物、金属炭化物、金属硼化物、金属炭窒化物、及び炭化タンゲステンの少なくともいずれかとすることができます、具体的には、窒化チタン、炭化チタン、硼化チタン、炭化タンゲステン、窒化ジルコニウム、炭窒化チタン及び炭化ニオブ等を例示できる。なお、導電性無機化合物相の含有量は、複合セラミック材料の強度及び破壊韌性値を確保しつつ十分な導電性向上を図るため、20～60体積%とするのがよい。なお、上記のような複合セラミックを使用する場合、すでに説明したアルミナ含有率あるいは焼結助剤の含有率は、複合セラミック全体における含有率ではなく、アルミナ質セラミックからなる基質中の含有率に読み替えるものとする。

【0055】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を、図面に示す実施例により説明する。

図3は、本発明の一実施例たるハードディスク装置1を示すものであり、磁気ディスク8を回転駆動するために、空気を動圧発生用流体として使用するセラミック動圧軸受3（以下単に動圧軸受とも記す）を備えた、動圧軸受付きモータを使用する。この動圧軸受付きモータでは、円筒状の軸受部15（回転体）を回転させるために、軸受部15の外周面に一体化された支持体7に永久磁石9が取り付けられ、基台11にはこの永久磁石9と対向するコイル13が取り付けられて

いる。なお、永久磁石9とコイル13との配置関係はこれを入れ替えてよい。

【0056】

セラミック動圧軸受3は、筒状の軸受部15（例えば、内径15mm、外径25mm、軸方向長さ8mm）の挿通孔15aに、筒状の主軸（例えば、内径5mm、外径15mm、軸方向長さ8mm）14が回転可能に挿通されている。図4に示すように、挿通孔15aの内周面M2と、主軸14の外周面M1とはいずれも円筒状のラジアル動圧隙間形成面であり、それらの間には、回転軸線Oに関するラジアル方向の動圧を発生させるために、空気にて満たされたラジアル動圧隙間17が形成されている。ラジアル動圧隙間17の大きさは例えば約5μmである。ここで、主軸14が請求項でいう第一部材であり、軸受部15が同じく第二部材である。

【0057】

一方、主軸14の両端面には、円板状のスラスト板（例えば、内径5mm、外径25mm、厚さ2mm）21，23が同軸的に一体化されており、それらスラスト板21，23の内側の板面M4，M6が、回転体である軸受部15の両端面M3，M5と対向している。本実施例では、スラスト板21，23は、図3に示すように、各内孔21b，23bの内縁部にて主軸14の端面に重ねられ、主軸14の中心孔14bに挿通されたボルト25を基台11にねじ込むことにより押圧固定されている。

【0058】

図4に示すように、スラスト板21，23の板面M4，M6と、軸受部15の両端面M3，M5とが各々スラスト動圧隙間形成面となり、それらの間には、回転軸線Oに関するスラスト方向の動圧を発生させるために、空気にて満たされたスラスト動圧隙間18，18が形成されている。スラスト動圧隙間18，18の各大きさは例えば約6μm程度である。

【0059】

主軸14、軸受部15及びスラスト板21，23は、それぞれ全体がアルミナ質セラミックにて構成されており、そのアルミナ含有率は90～99.5質量%、望ましくは92～98質量%であり、残部が酸化物系焼結助剤成分と不可避不

純物である。

【0060】

本実施例では、軸受部15の軸線方向両端面（スラスト動圧隙間形成面）15a、15bの平面度は、 $3 \mu\text{m}$ 以下の範囲（例えば $1.5 \mu\text{m}$ ）に設定されている。また、上側のスラスト板21の、下方の端面（スラスト動圧隙間形成面）21a及び下側のスラスト板23の、上方の端面（スラスト動圧隙間形成面）23bの平面度も、 $3 \mu\text{m}$ 以下の範囲（例えば、 $1.0 \mu\text{m}$ ）に設定されている。

【0061】

さらに、本実施例では、軸受部15は、図7に特徴を強調して示すように、上下のスラスト動圧隙間形成面15a、15bの各々において、最外周部15cよりも貫通孔に面する側の内周部15dの方が、 $0 \mu\text{m}$ を上回り、かつ $2.5 \mu\text{m}$ 以下の範囲で（例えば $1.0 \mu\text{m}$ ）高くなっている。つまり各々の端面において、内周部15dの方が最外周部15cより、高さの差 ΔH だけ厚くなるように、滑らかに凸（クラウニング）になっている（従って、両側では $2 \Delta H$ だけ厚くなっている）。一方、両スラスト板21、23は平板であり、内周部と最外周部とで高さの差はない。

【0062】

また、各部材を構成するアルミナ質セラミックの見かけ密度は $3.5 \sim 3.9 \text{ g/cm}^3$ 、望ましくは $3.6 \sim 3.8 \text{ g/cm}^3$ である。また、相対密度は $90 \sim 98\%$ 、望ましくは $94 \sim 97\%$ である。さらに、動圧隙間形成面M1～M6におけるセラミック結晶粒子の平均粒径は $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 、望ましくは $1 \sim 7 \mu\text{m}$ である。動圧隙間形成面M1～M6には、図5に示すように多数の表面空孔Kが形成されており、その平均寸法は $2 \sim 20 \mu\text{m}$ である。また、動圧隙間形成面における寸法 $2 \sim 20 \mu\text{m}$ の表面空孔の形成面積率を $10 \sim 60\%$ 、望ましくは $20 \sim 50\%$ とすることで、上記の凝着摩耗あるいはリングをより生じにくくし、かつ動圧隙間に発生する流体動圧レベルを高めることが可能となる。この場合、動圧隙間形成面M1～M6の少なくとも1つのものについて、表面空孔Kの寸法及び面積率が上述の範囲に調整されればよいが（例えば、ラジアル動圧隙間形成面M1、M2のいずれかのみ、スラスト動圧隙間発生面M3、M4の一

方のみ、あるいは同M5, M6の一方のみとする）、より効果を高めるためには、なるべく多くの動圧隙間形成面、理想的には、全ての動圧隙間形成面M1～M6において、表面空孔Kの寸法及び面積率が上述の範囲に調整されていることが望ましい。

【0063】

ラジアル動圧隙間形成面M1, M2の少なくとも一方（例えば主軸14側のM1）には、発生動圧レベルを高めるために、図2(a)に示すような周知の動圧溝を形成することができる。また、スラスト動圧隙間形成面M3～M6の少なくともいずれか（例えばスラスト板21, 23側のM4, M6）にも、図2(b)に示すような周知の動圧溝を形成することができる。

【0064】

以下、上述したセラミック動圧軸受3の製造方法について説明する。

各セラミック部材すなわち、主軸14、軸受部15、及びスラスト板21, 23は、公知の焼結法により製造できる。すなわち、平均粒径1～5μmのアルミニナ原料粉末に対し、焼結助剤粉末としてMgO, CaO, CeO₂, SiO₂, Na₂O等の酸化物粉末を配合して成形用素地粉末とし、これを金型成形あるいは冷間静水圧プレス等の公知の成形法により対応する形状にプレス成形する。その成形体を温度1400～1700℃にて焼結することにより焼結体を得る。

【0065】

この焼結体には、動圧隙間形成面の予定面を含む必要な面に研磨加工が施され、所定の寸法に仕上げられる。具体的には、軸受部15の挿通孔15aの内周面及び両端面、主軸14の外周面、及び両スラスト板21, 23の軸受部15端面への対向面に、例えば番手#100～#200のダイアモンド砥石により、周速1000～1200m/sの高速研磨を施し、さらに仕上げのために、番手#4000～#6000のダイアモンド砥粒によりバフ研磨を行なう。

【0066】

なお、図5(c)に示すように、研磨により仕上げられる動圧隙間発生面には、研磨時に生ずるセラミック結晶粒子の脱落により、表面空孔が脱粒孔の形で形成される。形成される表面空孔の寸法の平均値や分布及び面積率は、焼結体を構

成するセラミック結晶粒子の寸法の平均値及び分布、あるいは研磨砥石や砥粒の寸法（番手）、さらには研磨時間といった研磨条件の調整により調整できる。また、焼結助剤に由来する粒界相の組成や分布により、研磨時のセラミック結晶粒子の脱粒のしやすさが影響を受けることもあるので、研磨条件はこの点も考慮して好ましい表面空孔の形成状態が得られるように、適宜調整する必要がある。

【0067】

上記のように動圧隙間発生面を仕上げたセラミック部材は、緻密焼結体の表面にセラミック粒子の脱落により空孔が形成された組織、すなわち、図5（b）に示すように、表面空孔が存在する表層部よりも内層部が緻密となった特有の組織が得られる。従って、表面空孔の存在により凝着摩耗やリンキング発生防止あるいは発生動圧レベルの向上を効果的に図ることができるとともに、緻密な内層部が形成されることでセラミック部材の強度が向上する。また、表層部も、粒子脱落を生じなかつた組織部分は基本的には緻密な組織を維持しているから、例えばはじめから緻密化しない多孔質セラミック焼結体として構成した場合よりも、耐摩耗性が大幅に改善される。

【0068】

各動圧隙間形成面Mの加工仕上げが終了すれば、ここに前述の動圧溝がサンドブラストやエッティングなどにより刻設され、最終的な主軸14、軸受部15あるいはスラスト板21、23が得られる。そして、図3に示すように、接着等により支持体（ここでは、軸受部15を嵌め込むための孔部15aを有する円盤状に形成される）7、永久磁石9及びコイル13を組み付け、さらに、ボルト25を用いて主軸14、軸受部15及びスラスト板21、23を組み立てることにより、動圧軸受付きモータが得られる。また、支持体7に磁気ディスク8を取り付ければ、ハードディスク装置1の組立てが完了する。

【0069】

ハードディスク装置1は以下のように動作する。すなわち、動圧軸受付きモータ2は交流誘導モータとして構成され、コイル13への通電によりに磁気ディスク8が主軸14を固定軸として、軸受部15及び支持体7とともに一体的に回転駆動される。その最大回転数は8000rpm以上の高速回転であり、より大き

なスキャン速度が要求される場合には、最大回転数にて 10000 r p m 以上、さらには 30000 r p m 以上（例えば 50000 r p m 程度）にも達する場合がある。従って、コイル 13 のターン数や励磁用の永久磁石 9 が発生する外部磁界の値、さらには定格駆動電圧等が、磁気ディスク 8 の回転負荷を考慮して上記最大回転数が実現されるように適宜設定される。ここで、主軸 14 と軸受部 15 との間のラジアル動圧隙間 17 には回転軸線〇に関するラジアル動圧が、スラスト板 21, 23 と軸受部 15 との間のスラスト動圧隙間 18 には同じくスラスト動圧が発生し、ラジアル方向及びスラスト方向の双方において、相対回転する部材間の非接触状態が維持された状態で磁気ディスク 8 の回転軸線が支持される。

【0070】

そして、本実施例では、軸受部 15 の両スラスト動圧隙間形成面 15a, 15b 及び両スラスト板 21, 23 のスラスト動圧隙間形成面 21a, 23b の平面度が、 $3 \mu\text{m}$ 以下であるので、回転する際に動圧が発生する回転面において、適度なクリアランスを確保することができる。よって、回転時の振動が少なく、軸受部 15 やスラスト板 21, 23 等のセラミックス部材の破損が生じ難い。

【0071】

また、軸受部 15 の両スラスト動圧隙間形成面 15a, 15b では、その最外周部 15c と内周部 15d との高さ ΔH が、 $0 \mu\text{m}$ を上回り、かつ $2.5 \mu\text{m}$ 以下の範囲であるので、起動時及び停止時におけるリンクイング及び焼き付きの発生を抑制できる。よって、軸受部 15 やスラスト板 21, 23 等のセラミックス部材の破損が生じ難い。

【0072】

なお、上述した平面度と（内周部と最外周部との）高さの差 ΔH との関係について言えば、スラスト動圧隙間形成面の最外周部にうねり（例えば $0.5 \mu\text{m}$ 程度）があることがあるが、この場合、最外周部のうねりと前記高さの差 ΔH を合計した値が、実際の平面度に該当する。

【0073】

（他の実施例）

次に、実施例 1 以外の他の実施例について説明する。

他の実施例のセラミック動圧軸受については、実施例1に示す、軸受部及びスラスト板のセラミックス部材の寸法形状や構成以外に、下記の寸法形状や構成のセラミックス部材を採用できる。

【0074】

a) 要件①のみを満たすもの。すなわち、図8(a)に示すように、軸受部の両スラスト動圧隙間形成面と各スラスト板のスラスト動圧隙間形成面とが平行であり、軸受部の少なくとも一方のスラスト動圧隙間形成面の平面度のみが、 $3 \mu m$ 以下の範囲のもの。なお、図では、 $3 \mu m$ 以下の平面度の箇所（ここでは両スラスト動圧隙間形成面）を、斜線で模式的に示す（以下同様）。

【0075】

b) 要件②のみを満たすもの。すなわち、図8(b)に示すように、軸受部の両スラスト動圧隙間形成面と各スラスト板のスラスト動圧隙間形成面とが平行であり、各スラスト板の少なくとも一方のスラスト動圧隙間形成面の平面度のみが、 $3 \mu m$ 以下の範囲のもの。

c) 要件③のみを満たすもの。すなわち、図8(c)に示すように、軸受部の両スラスト動圧隙間形成面と各スラスト板のスラスト動圧隙間形成面とが平行であり、軸受部の少なくとも一方のスラスト動圧隙間形成面の平面度及び該スラスト動圧隙間形成面に対向するスラスト板のスラスト動圧隙間形成面の平面度の合計が、 $3 \mu m$ 以下の範囲のもの。

【0076】

d) 要件④のみを満たすもの。すなわち、図8(d)に示すように、スラスト動圧隙間形成面における平面度は規定していないが、軸受部の少なくとも一方のスラスト動圧隙間形成面において、内周部の方が最外周部より、 $0 \mu m$ を上回り、かつ $2.5 \mu m$ 以下の範囲で凸のもの。なお、図では、両端面動圧部で高さに差があるように示してある（以下同様）。

【0077】

e) 要件⑤のみを満たすもの。すなわち、図8(e)に示すように、スラスト動圧隙間形成面における平面度は規定していないが、両スラスト板の少なくとも一方のスラスト動圧隙間形成面において、内周部の方が最外周部より、 $0 \mu m$ を上

回り、かつ2. 5 μm 以下の範囲で凸のもの。

f) 要件⑥のみを満たすもの。すなわち、図8(f)に示すように、スラスト動圧隙間形成面における平面度は規定しておらず、また、軸受部やスラスト板のどちらがどの程度凸であるかは規定していないが、軸受部の少なくとも一方のスラスト動圧隙間形成面の最外周部と、それに対向するスラスト板のスラスト動圧隙間形成面の最外周部との間隔 ΔS が、動圧軸受の回転停止時において、0 μm を上回り、かつ2. 5 μm 以下の範囲のもの。なお、 ΔS は、軸受部とスラスト板を接触させた状態において、その外周部での両部材のクリアランスである。

【0078】

さらに、前記a)～f)の実施例以外に、各々を組み合わせたものが考えられる。例えば、図8に示すように、(a-d), (a-e), (a-f), (b-d), (b-e), (b-f), (c-d), (c-e), (c-f)などの構成の実施例(すなわち、①-④、①-⑤、①-⑥、②-④、②-⑤、②-⑥、③-④、③-⑤、③-⑥の計9種類の組合せ)が挙げられる。

【0079】

【実験例】

次に、上述した実施例の効果を確認するために行なった実験例について説明する。

(実験例1)

図3の構造のハードディスク装置において、以下に示すように、(1)平面度、及び(2)高さの差 ΔH 、の条件を変更して、各種の動圧軸受の試料を作製した。

(1) 平面度に関する実験

振動の有無の確認(回転中に測定)。但し、振動の検出は、非接触式のレーザ変位計(50000回/秒のサンプリング可能)を用いて行なう。以下、各表では、その結果を、◎; 振動極小、○; 振動小、×; 使用不可、で示した。

(2) 高さの差(端面高さ) ΔH (最外周部の間隔S)に関する実験

焼き付きの有無の確認(起動時及び停止時に焼き付きが発生したか否かを確認)。以下、各表では、その結果を、○; 焼き付きなし、△: 焼き付き発生したが

軽微、×；明らかな焼き付き発生、で示した。

【0080】

【表1】

	軸受部平面度	振動の有無
範囲内	1. 5 μm	◎
	3. 0 μm	○
範囲外	4. 5 μm	×

【0081】

但し、軸受部平面度は、軸受部の両スラスト動圧隙間形成面の平面度、両スラスト板の各スラスト動圧隙間形成面の平面度は、0. 1 μm 以下とする。この表1から明らかなように、軸受部のスラスト動圧隙間形成面の平面度が3 μm 以下の場合には、振動が少なく好適である。

【0082】

【表2】

	スラスト板平面度	振動の有無
範囲内	1. 5 μm	◎
	3. 0 μm	○
範囲外	4. 5 μm	×

【0083】

但し、スラスト板平面度は、両スラスト板のスラスト動圧隙間形成面の平面度、軸受部の両スラスト動圧隙間形成面の平面度は、0. 1 μm 以下とする。この表2から明らかなように、スラスト板のスラスト動圧隙間形成面の平面度が3 μm 以下の場合には、振動が少なく好適である。

【0084】

【表3】

	軸受部平面度	スラスト板平面度	平面度合計	振動の有無
範囲内	0. 5 μm	0. 5 μm	1. 0 μm	◎
	1. 0 μm	1. 0 μm	2. 0 μm	○
	1. 5 μm	1. 5 μm	3. 0 μm	○
範囲外	2. 5 μm	2. 5 μm	5. 0 μm	△

【0085】

この表3から明らかなように、対向する軸受部及びスラスト板の、スラスト動圧隙間形成面の平面度の合計が3 μm 以下の場合には、振動が少なく好適である

【0086】

【表4】

	軸受部端面高さ	凝着磨耗の有無	振動の有無
範囲内	-1. 5 μm	×	○
	0. 0 μm	×	◎
	+1. 5 μm	○	○
	+2. 5 μm	○	○
範囲外	+3. 5 μm	○	×

【0087】

但し、軸受部端面高さとは、軸受部のスラスト動圧隙間形成面において、内周部—最外周部の高さの差 ΔH であり、-は内周部の方が低く凹状であることを示し、+は内周部の方が高く凸状であることを示す。また、軸受部のスラスト動圧隙間形成面の、最外周部のうねりは0. 5 μm 以下、スラスト板のスラスト動圧隙間形成面の平面度は、0. 1 μm 以下とする。この表4から明らかなように、軸受部端面高さが、0 μm を上回り、かつ2. 5 μm 以下の範囲では、焼き付きがなく、かつ振動が少なく好適である。

【0088】

【表5】

	スラスト板 端面高さ	凝着磨耗の有無	振動の有無
範囲内	-1. 5 μm	×	○
	0. 0 μm	×	◎
	+1. 5 μm	○	○
	+2. 5 μm	○	○
範囲外	+3. 5 μm	○	×

【0089】

但し、スラスト板端面高さとは、スラスト板のスラスト動圧隙間形成面において、内周部—最外周部の高さの差 ΔH であり、-は内周部の方が低く凹状であることを示し、+は内周部の方が高く凸状であることを示す。また、軸受部のスラスト動圧隙間形成面の、最外周部のうねりは0. 5 μm 以下、スラスト板のスラスト動圧隙間形成面の平面度は、0. 1 μm 以下とする。この表5から明らかのように、スラスト端面高さが、0 μm を上回り、かつ2. 5 μm 以下の範囲では、焼き付きがなく、かつ振動が少なく好適である。

【0090】

【表6】

	軸受部端面 高さ [μm]	スラスト板 端面高さ [μm]	最外周部の 間隔△S [μm]	凝着磨耗の 有無	振動の有無
範囲外	-1.0	-1.5	-2	×	○
	-1.0	0.0	-1	×	○
	-1.0	+1.0	0	×	◎
	0.0	-1.0	-1	×	○
	0.0	0.0	0	×	◎
範囲内	0.0	+1.0	+1	○	◎
	0.0	+1.5	+1.5	○	○
範囲外	+1.0	-1.0	0	×	○
範囲内	+1.0	0.0	+1	○	◎
	+1.0	+1.0	+2	○	○
	+1.0	+1.5	+2.5	○	○
	+1.5	0.0	+1.5	○	○
	+1.5	+1.0	+2.5	○	○
範囲外	+1.5	+1.5	+3	×	×

【0091】

但し、軸受部端面高さ及びスラスト板端面高さのプラスマイナス等は、上記の表4、5において示した定義と同じである。また、軸受部及びスラスト板の、スラスト動圧隙間形成面の最外周部のうねりは、共に0.5 μm 以下とする。この表6から明らかなように、軸受部とスラスト板の、スラスト動圧隙間形成面の最外周部同士の間隔が、0 μm を上回り、かつ2.5 μm 以下の範囲では、焼き付きがなく、かつ振動が少なく好適である。なお、本発明は上記の実施例になんら限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々の態様で実施しうることはいうまでもない。

【0092】

例えば実施例1では、材料としてアルミナを用いて、主軸、軸受部、及びスラスト板を作製したが、それ以外に、ジルコニア、アルミナとジルコニアの混合材

料、窒化珪素等を用いてもよい。

【0093】

(実験例2)

図3に示す軸受部15、主軸14及びスラスト板21、23の各部材を、アルミナ質セラミック焼結体として以下のように製造した。すなわち、原料として、レーザー回折式粒度計にて測定した平均粒径が $1.8\text{ }\mu\text{m}$ のアルミナ粉末（純度：99.9%）と、CaO粉末（平均粒径： $4\text{ }\mu\text{m}$ ）、MgO粉末（平均粒径： $4\text{ }\mu\text{m}$ ）及びSiO₂粉末（平均粒径： $4\text{ }\mu\text{m}$ ）を、重量比にて3：1：1に配合した焼結助剤粉末とを用意した。そして、焼結助剤粉末が0.3～1.5質量%、残部アルミナ粉末となるように配合して、水と適量のバインダーとしてのPVAとを加えて湿式混合した後、スプレードライ法にて噴霧乾燥することにより、造粒原料素地粉末を得た。

【0094】

造粒原料素地粉末は、金型プレス法により各部材形状に成形した後、1400～1700℃の温度にて焼成した。得られた焼結体は、軸受部15の挿通孔15aの内周面及び両端面（スラスト動圧隙間形成面）、主軸14の外周面、さらにスラスト板21、23の軸受部15の端面に対する対向面（スラスト動圧隙間形成面）に、番手#100～200のダイアモンド砥石により、周速1000m/分の高速研磨を施し、さらに仕上げのために、番手#2000～#6000のダイアモンド砥粒によりバフ研磨を行なった。この状態で、公知の形状プロファイ尔測定機により、軸受部15及びスラスト板21、23の各スラスト動圧隙間形成面の平面度を測定した。そして、その測定後において、各部材の溝パターンに予定された以外の領域をマスキングしてショットblast処理することにより、図2に示す動圧溝を形成した。

【0095】

そして、各動圧隙間形成面において、動圧溝を形成していない研磨面領域を光学顕微鏡観察し、その観察画像上において公知の手法を用いて画像解析することにより、アルミナ結晶粒子の平均寸法（平均粒径）を求めた。さらに、表面空孔に関しては、寸法2～20μmの空孔の面積率を求めた。また、各部材の見かけ

密度をアルキメデス法により測定し、アルミナ及び焼結助剤の配合比から見積もられる真密度を用いて相対密度の値を算出した。

【0096】

次に、上記各部材を図3に示す動圧軸受付きハードディスク装置のモータに組み込み、以下の試験を行なった。

①回転数30000 r p mにて連續回転させたときの、回転部分となる軸受部15の回転振れ量（回転軸線と直交する向きにおける外周面測定位置の最大振れ振幅）を、レーザー干渉式測長器を用いて測定する。そして、振れ量が0. 1 μ m未満のものを優（◎）、同じく0. 1 μ m以上0. 2 μ m未満のものを良（○）、0. 2 μ m以上0. 3 μ m未満のものを可（△）、0. 3 μ mを超えるものを不可（×）として評価した。

【0097】

②停止状態から回転数30000 r p mまで加速し、1分保持した後、停止させるサイクルを100000回まで繰り返す。そして、動圧隙間形成面の凝着摩耗に関しては、サイクル終了まで、動圧隙間形成面に凝着摩耗の全く見られなかつたものを優（◎）、サイクル終了時に凝着摩耗が見られたが極めて僅かであったものを良（○）、サイクル終了時に多少の凝着摩耗が見られたが問題のなかつたものを可（△）、サイクル途中で大きな凝着摩耗が発生し、試験続行不能となつたものを不可（×）として評価した。さらに、軸受部15のスラスト動圧隙間形成面を利用して、J I S : Z 2 2 4 5 に規定された方法により荷重15Nにてロックウェル硬さを測定した。

以上の結果を表7及び表8に示す。

【0098】

【表7】

	アルミナ 含有率 (質量%)	焼結体平均 結晶粒径 (μm)	焼結体 見かけ密度 (g/ cm^3)	焼結体 相対密度 (%)	ロックウェル 硬さ	2~20 μm の表面 空孔面積率	砥石番手
1*	85.0	10.0	3.30	83	91	57	6000 #
2	90.0	7.0	3.59	90	94	36	6000 #
3	95.0	3.0	3.72	93	95	23	2000 #
4	95.0	3.0	3.72	93	95	22	3000 #
5	95.0	3.0	3.72	93	95	21	4000 #
6	95.0	3.0	3.72	93	95	21	5000 #
7	95.0	3.0	3.72	93	95	21	6000 #

*は本発明の範囲外であることを示す。

【0099】

【表8】

	スラスト板平面度 (μm)	軸受部端面平面度	回転振れ	凝着磨耗
1*	3.5	3.5	×	×
2	3.0	1.0	△	△
3	2.0	1.0	○	○
4	1.5	1.5	○	○
5	1.0	1.0	◎	◎
6	0.5	0.5	◎	◎

*は本発明の範囲外であることを示す。

【0100】

この結果からも明らかに、アルミナ質セラミックのアルミナ含有率を90～99.5質量%とすることにより、軸受部15及びスラスト板21, 23の各スラスト動圧隙間形成面の平面度を3 μm 以下とすることができます、それによって回転振れや凝着磨耗が生じにくくなることがわかる。また、各スラスト動圧隙間形成面の平面度が3 μm 以下となることで、効果が一層高められていることもわ

かる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明のハードディスク装置に使用するセラミック動圧軸受の一構成例を示す断面模式図。

【図2】

ラジアル動圧隙間形成面に形成される動圧溝及びスラスト動圧隙間形成面に形成される動圧溝の一例をそれぞれ示す説明図。

【図3】

本発明のハードディスク装置の一例を示す正面断面図。

【図4】

図3の要部をなすセラミック動圧軸受の正面断面図及び分解斜視図。

【図5】

表面空孔が形成された動圧隙間形成面を示す模式図及び研磨時の脱粒により表面空孔が形成される様子を示す説明図。

【図6】

空孔（ないし結晶粒子）の寸法の定義を示す説明図。

【図7】

図3の軸受部の特徴を強調して示す説明図。

【図8】

軸受部の種々の変形例を示す説明図。

【図9】

アルミナ質セラミック焼結体の組織を示す模式図。

【図10】

セラミック結晶粒子の脱落による種々の空孔形成態様を示す模式図。

【符号の説明】

1, 90 ポリゴンスキャナ

3, 33, 51, 101 セラミック動圧軸受

14, 39, 106, 212 主軸

15, 35, 107, 220 軸受部

15a 挿通孔

17, 38, 91, 240 ラジアル動圧隙間

18, 92 スラスト動圧隙間

21, 23, 103, 109 スラスト板

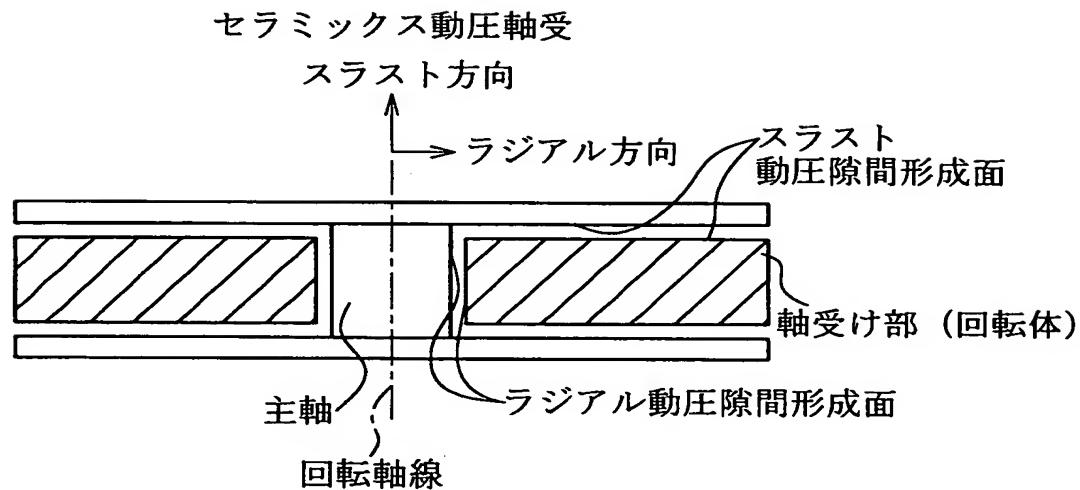
M 動圧隙間形成面

M1, M2 ラジアル動圧隙間形成面

M3~M6 スラスト動圧隙間形成面

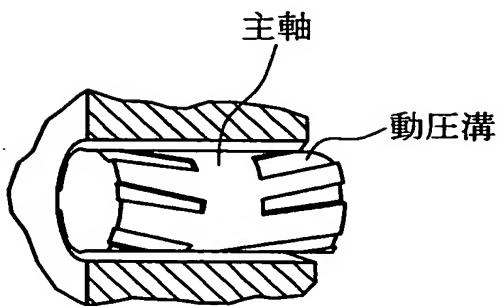
【書類名】 図面

【図1】

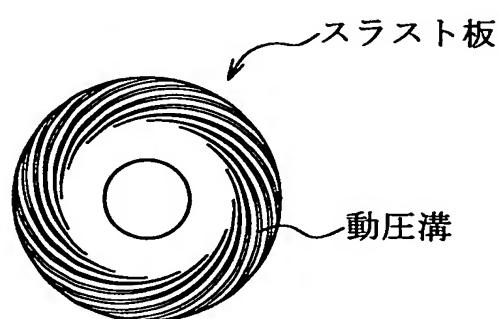


【図2】

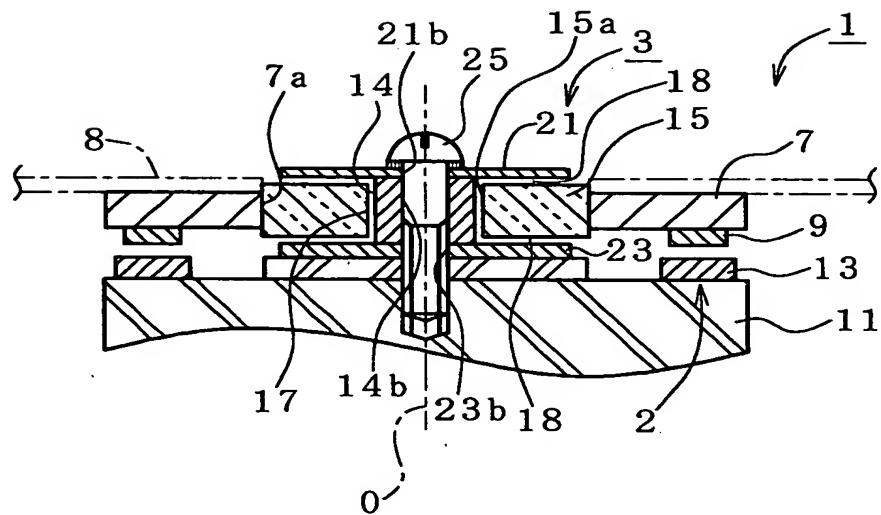
(a)



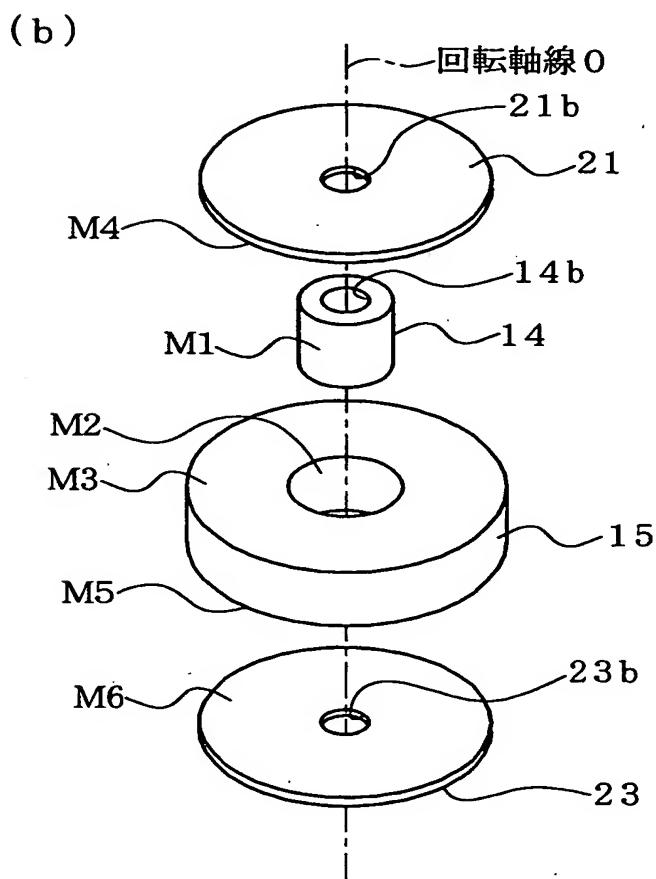
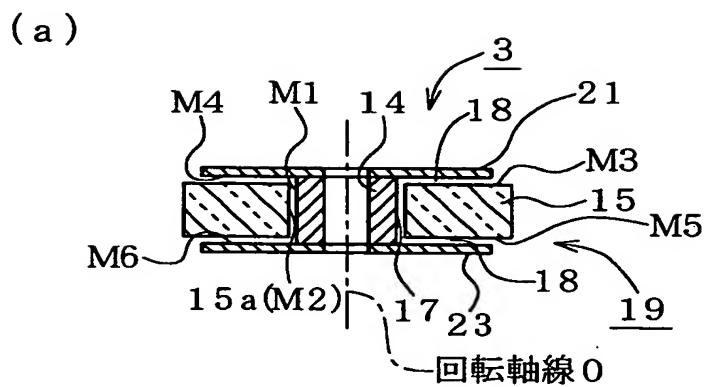
(b)



-[図3]

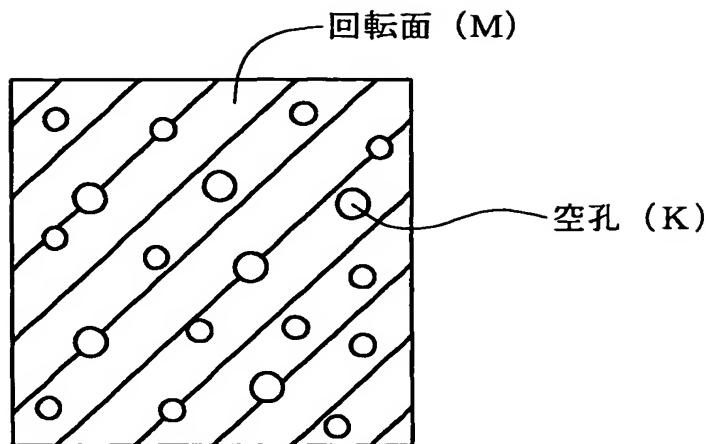


-【図4】

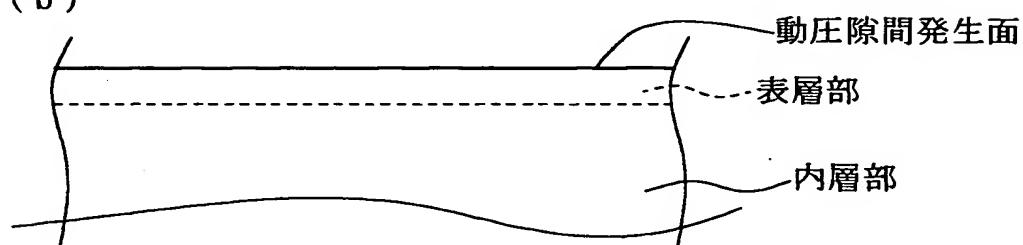


【図5】

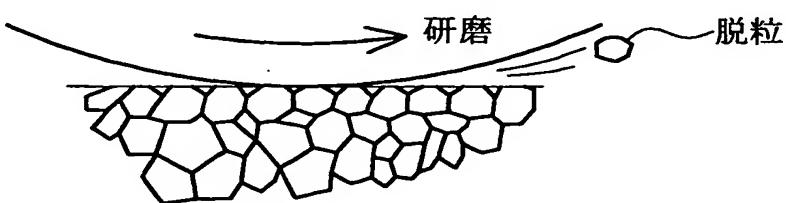
(a)



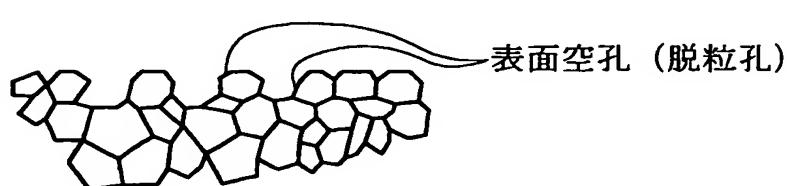
(b)



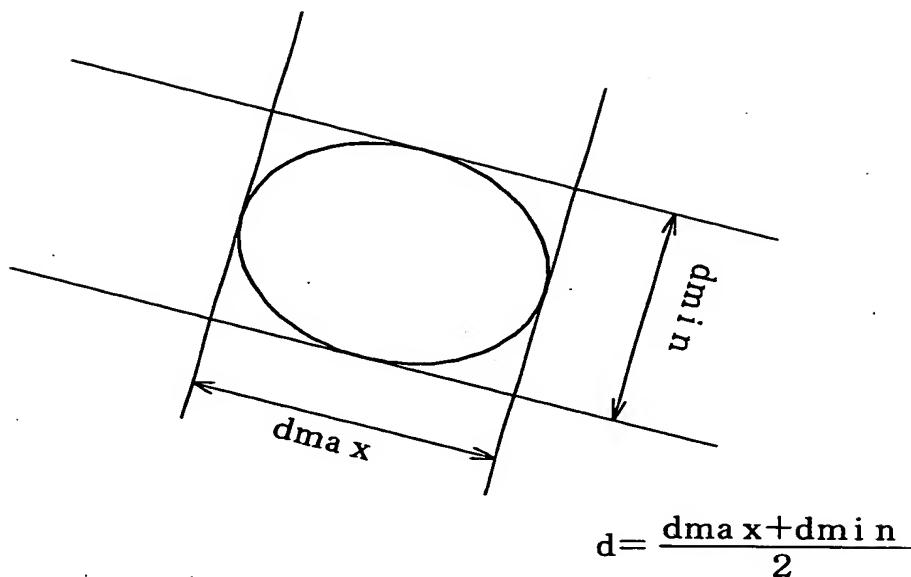
(c)



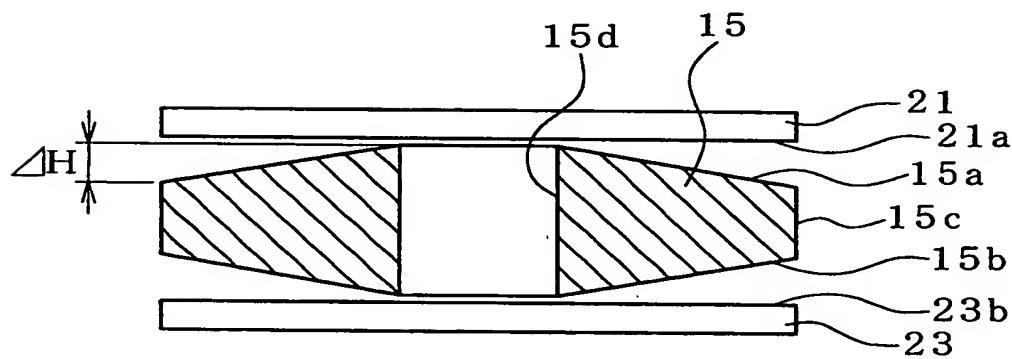
(d)



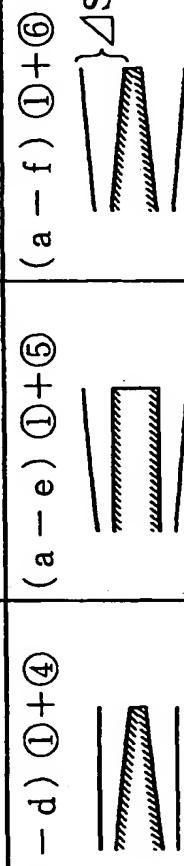
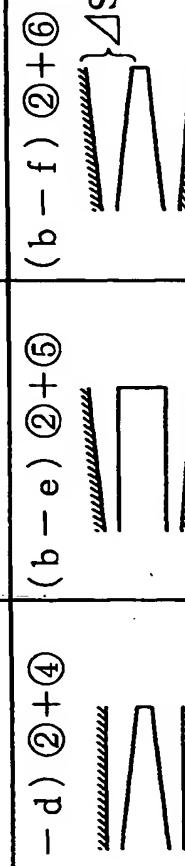
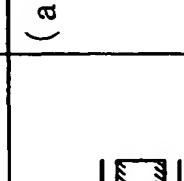
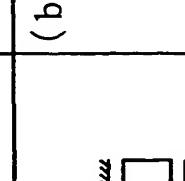
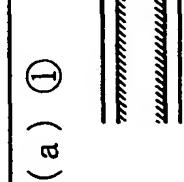
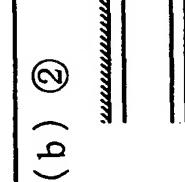
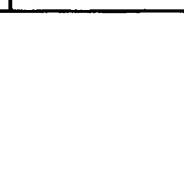
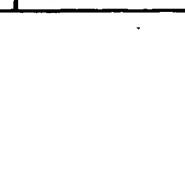
【図6】



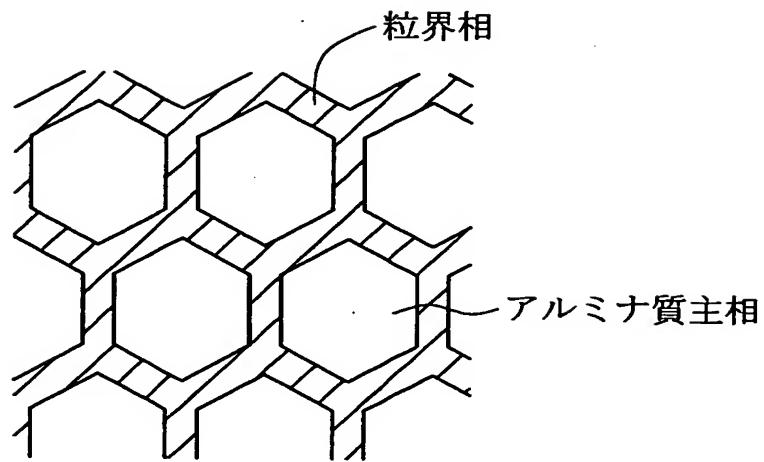
【図7】



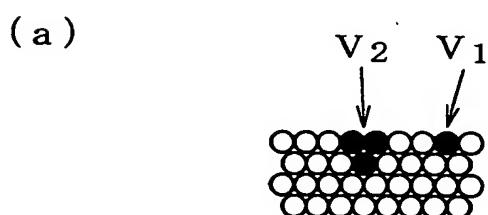
【図8】

(d) ④	(e) ⑤	(f) ⑥
		
(a) ①	(a-d) ①+④	(a-e) ①+⑤
		
(b) ②	(b-d) ②+④	(b-e) ②+⑤
		
(c) ③	(c-d) ②+④	(c-e) ③+⑤
		

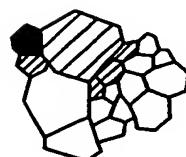
【図9】



【図10】



(b)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 始動・停止時等において摩耗等が生じにくく、かつ動圧軸受けの好適な回転を実現できるセラミック動圧軸受けを提供する。

【解決手段】 円筒状の外周面を有する第一部材14と、円筒状の挿通孔15aを有した第二部材15とを有し、ここに第一部材14が挿通される。そして、第二部材15の挿通孔内面と第一部材14の外周面との間にラジアル動圧隙間が形成される。第一部材14及び第二部材15とはいずれも、 Al_2O_3 換算したAl成分の含有率が90～99.5質量%であって、酸化物系焼結助剤成分を酸化物換算にて0.5～1.0質量%含有するアルミナ質セラミックにて構成され、第二部材15の挿通孔内周面の円筒度が1.5 μm 以下及び任意の軸直交断面における真円度が1.0 μm 以下であり、他方、第一部材14の外周面の円筒度が1.0 μm 以下及び任意の軸直交断面における真円度が0.5 μm 以下とされる。

【選択図】 図3

出願人履歴情報

識別番号 [000004547]

1. 変更年月日 1990年 8月 8日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県名古屋市瑞穂区高辻町14番18号

氏 名 日本特殊陶業株式会社